

*Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2021
Makassar, 21 September 2021*

Analisis Penambahan Kapasitor Shunt untuk Memperbaiki Faktor Daya pada Sisi Jaringan Tegangan Rendah di PT. Semen Tonasa Unit V

Mega¹⁾, Purwito²⁾, Ruslan L³⁾.

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
wmega8334@gmail.com
purwito@poliupg.ac.id
ruslanlausu@gmail.com

Abstrak

Faktor daya yang rendah akan sangat merugikan konsumen terutama kalangan industri sebagai pengguna terbesar. Salah satu pabrik industri yang memiliki beban induktif yang besar adalah PT. Semen Tonasa pada Unit V. Penggunaan beban yang bersifat induktif dalam kapasitas besar ini dapat menyebabkan penurunan faktor daya, memperbesar jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Salah satu cara yang dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan penambahan kapasitor bank. Penelitian ini dilakukan untuk menghitung besarnya nilai faktor daya sebelum pemasangan kapasitor, menghitung besarnya nilai kompensasi reaktif yang diperlukan untuk perbaikan faktor daya menjadi 0.90 pada sisi jaringan tegangan rendah pada PT. Semen Tonasa Unit V dan untuk menghitung biaya pembelian dan pemasangan kapasitor yang optimal. Dalam penelitian ini, data diperoleh dari PT. Semen Tonasa dengan teknik observasi lapangan dan wawancara. Sedangkan analisis data dilakukan dengan teknik analisis deskriptif dan simulasi menggunakan ETAP 12.6.0. Berdasarkan hasil Penelitian diperoleh nilai faktor daya pada pengukuran sebesar 0.70 sebelum pemasangan kapasitor, Besar kompensasi daya reaktif (Q_c) diperoleh berdasarkan selisih dari daya reaktif sebelum perbaikan faktor daya (Q_b) dengan daya reaktif setelah perbaikan (Q_t), dan biaya optimal pembelian dan pemasangan kapasitor bank di ER 55A pada sisi jaringan tegangan rendah sebesar Rp 25.379.200.

Keywords: Faktor daya, Kapasitor bank, Etap12.6.0.

I. PENDAHULUAN

Setiap pabrik industri memiliki kapasitas kapasitor yang berbeda-beda dalam mengatasi daya reaktif yang ditimbulkan beban induktif yang besar. Salah satu perusahaan industri yang memiliki beban induktif yang besar adalah PT. Semen Tonasa utamanya pada unit 5. Pada unit 5 ini terdapat 9 *Electrical Room* (ER) yang didalamnya terdapat 12 motor pada tegangan 380 Volt yang dilayani oleh 2 sumber listrik utama yakni suplai daya dari pembangkit sendiri dan juga suplai daya dari PLN. Besarnya daya reaktif yang digunakan berdampak pada menurunnya nilai faktor daya pada area tersebut. Salah satu ER yang memiliki nilai faktor daya yang rendah yaitu ER 55A. Pada hasil Pengukuran aktual di ER 55A didapatkan faktor daya sebesar 0,70 pada sisi jaringan tegangan rendah.

Tujuan Penelitian ini meliputi: (1) Menghitung besarnya nilai kompensasi reaktif yang diperlukan untuk perbaikan faktor daya menjadi 0.90 pada sisi jaringan tegangan rendah pada PT. Semen Tonasa Unit V; (2) Menghitung biaya pembelian dan pemasangan kapasitor yang optimal.

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah Sebagai bahan pembelajaran dalam upaya menambah pengetahuan dan wawasan yang lebih luas. Selain itu, juga sebagai bahan informasi atau bahan acuan bagi peneliti selanjutnya dalam skala yang lebih luas dan kompleks yang berkaitan dengan judul ini.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Kapasitor Bank

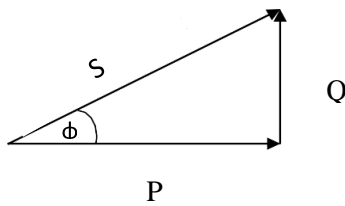
Kapasitor bank adalah peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang berfungsi untuk mengimbangi sifat induktif atau sekumpulan beberapa kapasitor yang dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan kapasitas kapasitif yang akan digunakan. Secara sederhana kapasitor terdiri dari dua plat logam yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik dan kapasitor ini mempunyai sifat menyimpan muatan listrik. Kapasitor bank digunakan secara luas pada sistem distribusi untuk perbaikan faktor daya dan pengaturan tegangan *feeder*. Pada saluran transmisi kapasitor bank berguna untuk mengkompensasi daya reaktif dan memastikan tegangan terjaga pada levelnya pada saat beban penuh.

B. Daya

Daya merupakan jumlah energi listrik tiap satuan waktu. Daya listrik dibagi menjadi tiga, yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu. Berikut adalah penjelasan dari ketiga daya tersebut. Ketiga daya ini digambarkan dengan segitiga daya. Gambar 5 adalah gambar segitiga daya tersebut.

B.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang sebenarnya digunakan oleh konsumen. Daya aktif memiliki satuan Watt.



Gambar 1. Segitiga Daya

- a. Daya Aktif 1 Fasa

$$P = V_{ln} \cdot I \cdot \cos \phi \quad (1)$$

- b. Daya Aktif 3 Fasa

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{ll} \cdot I \cdot \cos \phi \quad (2)$$

B.2 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet. Daya aktif diberi simbol Q , sedangkan satuan daya reaktif adalah Var (*Volt Ampere Reactive*).

- a. Daya Reaktif 1 Fasa

$$Q = V_{ln} \cdot I \cdot \sin \phi \quad (3)$$

- b. Daya Reaktif 3 Fasa

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_{ll} \cdot I \cdot \sin \phi \quad (4)$$

B.3 Daya Semu

Daya semu merupakan daya yang dibangkitkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik. Daya semu diberi simbol S dan memiliki satuan VA (*Volt Ampere*).

- a. Daya Semu 1 Fasa

$$S = V_{ln} \cdot I \quad (5)$$

- b. Daya Semu 3 Fasa

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{ll} \cdot I \quad (6)$$

C. Faktor Daya

Faktor daya merupakan cosinus dari beda sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya disimbolkan dengan $\cos \phi$ dan mempunyai rentang nilai antara 0 sampai 1. Semakin mendekati 1 maka nilai faktor daya akan semakin baik. Kemudian untuk mencari nilai faktor daya dapat dilakukan dengan membagi daya aktif (P) dengan daya semu (S).

C.1 Perbaikan Faktor Daya

Untuk perbaikan faktor daya adalah meningkatkan nilai dari $\cos \phi_1$ menjadi $\cos \phi_2$ dengan tingkat distorsi yang rendah dan tidak terjadi resonansi pada impedansi bus- bus utama. Berdasarkan atas pengukuran saat pemakaian normal dan pemakaian beban puncak dapat ditentukan kebutuhan daya aktif dan daya reaktifnya:

$$\cos \phi (\text{pf}) = \frac{P}{S} = \frac{V I \cos \phi}{V I} \quad (7)$$

$V I \cos \phi$ adalah total daya aktif (P total) pada saat operasional, maka:

$$\begin{aligned} \text{Daya Reaktif} &= \sqrt{kVA^2 - kW^2} = kVA \sin \phi \\ &= kW \tan \phi \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{Daya Semu} = \sqrt{kVAR^2 + kW^2} = \frac{kW}{\cos \phi} \quad (9)$$

Untuk meningkatkan harga $\cos \phi_2$ mendekati harga ideal yaitu 1 (Unity Power faktor). Dalam hal ini, dengan melihat karakteristik beban yang fluktuatif maka target perbaikan faktor daya adalah dari $\cos \phi_1$ menjadi $\cos \phi_2$. Sehingga kebutuhan daya reaktifnya akan berubah menjadi:

$$Q_b = P \tan \phi_1 \quad (10)$$

$$Q_t = P \tan \phi_2 \quad (11)$$

Sehingga :

$$Q_c = Q_b - Q_t \quad (12)$$

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V^2} \quad (13)$$

D. Electrical Transient Analyser Program (ETAP)

D.1 Pengenalan ETAP

ETAP merupakan program yang menawarkan solusi yang paling komprehensif untuk desain, simulasi, dan analisis pembangkitan, transmisi, dan distribusi listrik untuk sebuah sistem tenaga listrik yang besar.

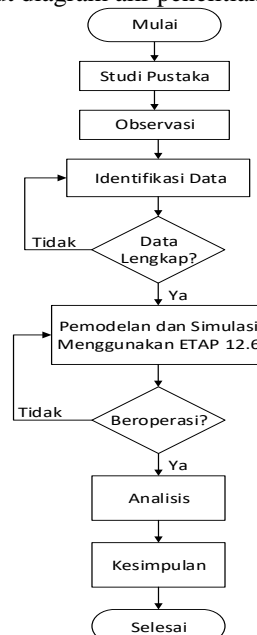
D.2 Tools ETAP

ETAP telah menyediakan *tools* yang diperlukan untuk menganalisa sebuah *study case*, sehingga sangat memudahkan bagi penggunaannya. *Tools* yang disediakan oleh ETAP :

1. Select Mode
2. Edit Toolbar
3. Project View

III. METODE PENELITIAN

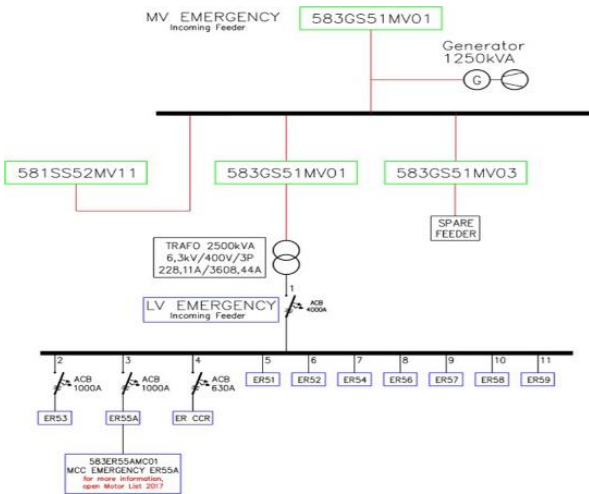
Objek penelitian ini adalah ruangan ER 55A di PT. Semen Tonasa Unit V. Lokasi penelitian dilakukan pada PT. Semen Tonasa Unit V yang berlokasi di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep, 90651. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu: 1. Melakukan Observasi awal dan mengumpulkan data. Data – data diperoleh dari PT. Semen Tonasa Unit V. Data – data yang dimaksud adalah data ruangan ER 55A: Data faktor daya, Data motor induksi 3 fasa, *Single line diagram*, Data parameter daya, Data parameter tegangan, dan Data parameter arus; 2. Membuat pemodelan berdasarkan diagram satu garis pada ETAP 12.6.0 untuk simulasi; 2. Menginput nilai-nilai yang telah diperoleh kedalam simulasi ETAP 12.6; 3. Melakukan analisis terhadap perbandingan parameter yang diperoleh. Berikut diagram alir penelitian.



Gambar 2. Diagram Alir prosedur kegiatan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Single Line Diagram



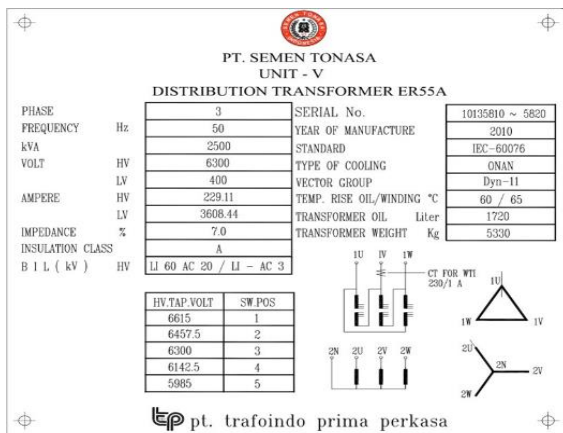
Gambar 3. Single Line Diagram

Pada *single line diagram* pada gambar 3, menunjukkan tegangan 6.3kV dari panel *Medium Voltage Switchgear* selanjutnya menuju trafo distribusi yang akan diturunkan ke tegangan 400V untuk *energize* panel *Low Voltage Switchgear*. Kemudian setiap *line up* dari panel *Low Voltage Switchgear* terbagi-bagi ke pengaman *Air Circuit Breaker* (ACB) menuju ke setiap *Electrical Room* (ER) di lokasi, salah satunya adalah panel MCC *Emergency* pada ER 55A.

B. Data Trafo Distribusi

Adapun spesifikasi trafo distribusi yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Manufacture : PT. Trafoindo Prima Perkasa
2. Rate Power : 2500 kVA
3. Voltage : 6.3kV/0.4kV
4. Ampere sisi LV : 3608.44 A
5. Belitan : D/Y



Gambar 4. Name plate trafo

C. Data Hasil Pengukuran

Tabel 1. Data Tegangan Sebelum Pemasangan Kapasitor

| Hari Ke- (Tgl/Bln/Thn) | Pukul (WITA) | Step | Tegangan (Volt) | | | | | | | | Rata-rata L-N | Rata-rata L-L |
|---------------------------|--------------|------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|---------------|---------------|
| | | | R-N | S-N | T-N | R-S | S-T | R-T | | | | |
| Hari Ke-1 22/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 226,30 | 225,80 | 225,50 | 391,96 | 391,10 | 390,58 | | | 225,87 | 391,21 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 226,60 | 226,10 | 225,60 | 392,48 | 391,62 | 390,75 | | | 226,10 | 391,62 |
| | 12.00-13.00 | 0 | 226,70 | 226,40 | 225,50 | 392,66 | 392,14 | 390,58 | | | 226,20 | 391,79 |
| | 13.00-14.00 | 0 | 225,10 | 224,40 | 224 | 389,88 | 388,67 | 387,98 | | | 224,50 | 388,84 |
| | 14.00-15.00 | 0 | 226,30 | 225,60 | 225,10 | 391,96 | 390,75 | 389,88 | | | 225,67 | 390,86 |
| Hari Ke-2 23/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 225,20 | 225,50 | 224,80 | 390,06 | 390,58 | 389,37 | | | 225,17 | 390,00 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 225,50 | 224,90 | 224,50 | 390,58 | 389,54 | 388,85 | | | 224,97 | 389,66 |
| | 12.00-13.00 | 0 | 225,20 | 224,70 | 224,70 | 390,06 | 389,19 | 389,19 | | | 224,87 | 389,48 |
| | 13.00-14.00 | 0 | 225,50 | 224,80 | 224,40 | 390,58 | 389,37 | 388,67 | | | 224,90 | 389,54 |
| | 14.00-15.00 | 0 | 225,20 | 224,60 | 224,10 | 390,06 | 389,02 | 388,15 | | | 224,63 | 389,08 |
| Hari Ke-3 24/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 225,10 | 224,60 | 224,30 | 389,88 | 389,02 | 388,50 | | | 224,67 | 389,13 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 225,20 | 224,80 | 224,40 | 390,06 | 389,37 | 388,67 | | | 224,80 | 389,37 |
| | 12.00-13.00 | 0 | 225,10 | 224,40 | 224,20 | 389,88 | 388,67 | 388,33 | | | 224,57 | 388,96 |
| | 13.00-14.00 | 0 | 225 | 224,30 | 224,10 | 389,71 | 388,50 | 388,15 | | | 224,47 | 388,79 |
| | 14.00-15.00 | 0 | 225,40 | 224,70 | 224,40 | 390,40 | 389,19 | 388,67 | | | 224,83 | 389,42 |
| Hari Ke-4 25/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 225,50 | 225,10 | 224,50 | 390,58 | 389,88 | 388,85 | | | 225,03 | 389,77 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 225,60 | 225 | 224,50 | 390,75 | 389,71 | 388,85 | | | 225,07 | 389,83 |
| | 12.00-13.00 | 0 | 225,90 | 225,10 | 224,60 | 391,27 | 389,88 | 389,02 | | | 225,20 | 390,06 |
| | 13.00-14.00 | 0 | 226,50 | 225,90 | 225,10 | 392,31 | 391,27 | 389,88 | | | 225,83 | 391,15 |
| | 14.00-15.00 | 0 | 225,50 | 224,90 | 224,50 | 390,58 | 389,54 | 388,85 | | | 224,97 | 389,66 |
| Hari Ke-5 26/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 225,20 | 225,50 | 224,80 | 390,06 | 390,58 | 389,37 | | | 225,17 | 390,00 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 225,50 | 224,90 | 224,50 | 390,58 | 389,54 | 388,85 | | | 224,97 | 389,66 |
| | 12.00-13.00 | 0 | 225,20 | 224,70 | 224,70 | 390,06 | 389,19 | 389,19 | | | 224,87 | 389,48 |
| | 13.00-14.00 | 0 | 225,50 | 224,80 | 224,40 | 390,58 | 389,37 | 388,67 | | | 224,90 | 389,54 |
| | 14.00-15.00 | 0 | 226,30 | 225,60 | 225,10 | 391,96 | 390,75 | 389,88 | | | 225,67 | 390,86 |
| Rata-rata Total | | | | | | | | | | | 225,12 | 387,25 |

Tabel 2. Data Arus Sebelum Pemasangan Kapasitor

| Hari Ke- (Tgl/Bln/Thn) | Pukul (WITA) | Step | Arus (Ampere) | | | | Rata-rata |
|---------------------------|--------------|------|---------------|-----|-----|--|-----------|
| | | | R | S | T | | |
| Hari Ke-1 22/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 790 | 790 | 762 | | 780,67 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 830 | 828 | 800 | | 819,33 |
| | 12.00-13.00 | 0 | 809 | 808 | 778 | | 798,33 |
| | 13.00-14.00 | 0 | 821 | 824 | 792 | | 812,33 |
| | 14.00-15.00 | 0 | 818 | 819 | 789 | | 808,67 |
| Hari Ke-2 23/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 716 | 717 | 683 | | 705,33 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 709 | 711 | 678 | | 699,33 |
| | 12.00-13.00 | 0 | 794 | 789 | 759 | | 780,67 |
| | 13.00-14.00 | 0 | 807 | 805 | 778 | | 796,67 |
| | 14.00-15.00 | 0 | 786 | 783 | 752 | | 773,67 |
| Hari Ke-3 24/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 727 | 730 | 706 | | 721,00 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 725 | 725 | 704 | | 718,00 |
| | 12.00-13.00 | 0 | 728 | 732 | 708 | | 722,67 |
| | 13.00-14.00 | 0 | 719 | 725 | 702 | | 715,33 |
| | 14.00-15.00 | 0 | 733 | 740 | 714 | | 729,00 |
| Hari Ke-4 25/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 768 | 767 | 737 | | 757,33 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 808 | 802 | 769 | | 793,00 |
| | 12.00-13.00 | 0 | 754 | 753 | 719 | | 742,00 |
| | 13.00-14.00 | 0 | 810 | 809 | 775 | | 798,00 |
| | 14.00-15.00 | 0 | 810 | 809 | 774 | | 797,67 |
| Hari Ke-5 26/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 716 | 717 | 683 | | 705,33 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 709 | 711 | 678 | | 699,33 |
| | 12.00-13.00 | 0 | 794 | 789 | 759 | | 780,67 |
| | 13.00-14.00 | 0 | 807 | 805 | 778 | | 796,67 |
| | 14.00-15.00 | 0 | 818 | 819 | 789 | | 808,67 |
| Rata-rata Total | | | | | | | 762,39 |

Tabel 3. Data Daya Sebelum Pemasangan Kapasitor

| Sebelum Pemasangan Kapasitor | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------|------|-----------------|-------|--------|--------|---------------------|-------|-----|--------|-----------------|-------|-------|--------|---------|------|
| Hari Ke- (Tgl/Bln/Thn) | Pukul (WITA) | Step | Daya Semu (kVA) | | | | Daya Reaktif (kVAR) | | | | Daya Aktif (kW) | | | | Cos Phi | |
| | | | R | S | T | L-L | R | S | T | L-L | R | S | T | L-L | | |
| Hari Ke-1 22/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 178 | 178 | 171 | 528 | 127 | 127 | 122 | 377 | 127 | 127 | 126 | 125 | 379 | 0,70 |
| | 11.00-12.00 | 0 | 188 | 187 | 180 | 555 | 152 | 151 | 127 | 391 | 153 | 152 | 128 | 394 | 0,71 | |
| | 12.00-13.00 | 0 | 183 | 182 | 175 | 541 | 150 | 150 | 125 | 386 | 128 | 128 | 122 | 379 | 0,70 | |
| | 13.00-14.00 | 0 | 184 | 184 | 174 | 547 | 150 | 150 | 124 | 385 | 131 | 131 | 125 | 388 | 0,71 | |
| | 14.00-15.00 | 0 | 185 | 184 | 177 | 547 | 128 | 128 | 123 | 379 | 133 | 133 | 127 | 394 | 0,71 | |
| Hari Ke-2 23/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 161 | 161 | 153 | 476 | 126 | 126 | 120 | 373 | 99 | 100 | 95 | 295 | 0,69 | |
| | 11.00-12.00 | 0 | 159 | 159 | 152 | 471 | 122 | 122 | 116 | 362 | 127 | 125 | 116 | 379 | 0,70 | |
| | 12.00-13.00 | 0 | 178 | 177 | 170 | 526 | 129 | 128 | 123 | 381 | 123 | 122 | 117 | 363 | 0,69 | |
| | 13.00-14.00 | 0 | 181 | 180 | 174 | 537 | 129 | 129 | 124 | 383 | 127 | 126 | 122 | 376 | 0,70 | |
| | 14.00-15.00 | 0 | 177 | 175 | 168 | 521 | 126 | 125 | 120 | 372 | 123 | 123 | 117 | 364 | 0,70 | |
| Hari Ke-3 24/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 163 | 163 | 158 | 485 | 124 | 124 | 120 | 369 | 125 | 125 | 125 | 376 | 0,68 | |
| | 11.00-12.00 | 0 | 163 | 162 | 157 | 484 | 125 | 125 | 121 | 372 | 101 | 101 | 99 | 302 | 0,69 | |
| | 12.00-13.00 | 0 | 163 | 164 | 158 | 486 | 125 | 126 | 121 | 374 | 104 | 105 | 101 | 311 | 0,70 | |
| | 13.00-14.00 | 0 | 161 | 162 | 157 | 481 | 126 | 127 | 123 | 377 | 100 | 100 | 102 | 303 | 0,70 | |
| | 14.00-15.00 | 0 | 165 | 166 | 160 | 491 | 125 | 126 | 121 | 373 | 111 | 110 | 109 | 330 | 0,71 | |
| Hari Ke-4 25/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 173 | 172 | 165 | 511 | 130 | 129 | 124 | 384 | 114 | 113 | 109 | 337 | 0,71 | |
| | 11.00-12.00 | 0 | 182 | 180 | 172 | 535 | 131 | 130 | 124 | 387 | 125 | 124 | 119 | 369 | 0,71 | |
| | 12.00-13.00 | 0 | 170 | 169 | 161 | 500 | 127 | 127 | 121 | 376 | 112 | 111 | 106 | 330 | 0,70 | |
| | 13.00-14.00 | 0 | 182 | 182 | 174 | 539 | 126 | 126 | 120 | 374 | 131 | 131 | 125 | 388 | 0,71 | |
| | 14.00-15.00 | 0 | 183 | 182 | 174 | 540 | 129 | 128 | 122 | 380 | 130 | 129 | 123 | 383 | 0,69 | |
| Hari Ke-5 26/02/2021 | 10.00-11.00 | 0 | 161 | 161 | 153 | 476 | 126 | 126 | 120 | 373 | 125 | 122 | 125 | 373 | 0,70 | |
| | 11.00-12.00 | 0 | 159 | 159 | 152 | 471 | 122 | 122 | 116 | 362 | 121 | 121 | 120 | 369 | 0,70 | |
| | 12.00-13.00 | 0 | 178 | 177 | 170 | 526 | 129 | 128 | 123 | 381 | 123 | 122 | 117 | 363 | 0,69 | |
| | 13.00-14.00 | 0 | 181 | 180 | 174 | 537 | 129 | 129 | 124 | 383 | 127 | 126 | 122 | 376 | 0,70 | |
| | 14.00-15.00 | 0 | 185 | 184 | 177 | 547 | 128 | 128 | 123 | 381 | 126 | 126 | 129 | 384 | 0,72 | |
| Rata-rata | | | 173,72 | 173,2 | 166,36 | 514,32 | 127,4 | 127,2 | 122 | 377,76 | 121,16 | 120,6 | 117,2 | 359,92 | 0,70 | |

D. Data Pengukuran Sebelum Pemasangan Kapasitor

Berikut diketahui beberapa parameter berdasarkan praktik pengukuran dilapangan

Rata-rata daya aktif (P) = 359,92 kW

Rata-rata daya semu (S) = 514,32 kVA

Rata-rata daya reaktif (Q) = 377,76 kVAR

Rata-rata Tegangan (V) = 387,25 V

Rata-rata Arus (I) = 762,39 A
Cos Phi = 0.70
Frekuensi = 50 Hz

E. Menjadikan PF=0,90

Dengan mengacu pada nilai-nilai pembebanan maka hasil yang diperoleh setelah faktor daya (PF = 0,90) dengan menggunakan beberapa persamaan yaitu sebagai berikut.

- Menghitung besar kVA berdasarkan kapasitas kW dengan menggunakan persamaan (2.9). Di mana P = 359,92 kW, maka :

$$PF = \frac{P}{S}$$

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$S = \frac{359,92 \text{ kW}}{0,90}$$

$$S = 399,91 \text{ kVA}$$

- Menghitung besar arus yang mengalir dengan menggunakan persamaan (2.8). Dimana nilai kVA yang telah dihitung disubstitusikan dan V = 387,25 V, maka :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

$$I = \frac{399910 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 387,25 \text{ V}}$$

$$I = 596,93 \text{ A}$$

Tabel 4. Hasil Simulasi Setelah Pemasangan Kapasitor Bank berdasarkan teori

| Kondisi | Simulasi | | | |
|------------------------------|------------|----------|-----------------|-----------------|
| | Cos ϕ | Arus (A) | Daya Aktif (kW) | Daya Semu (kVA) |
| Sesudah Pemasangan Kapasitor | 0,90 | 596,93 | 359,92 | 399,91 |

- Menghitung besar kVAR berdasarkan nilai faktor daya (PF = 0,90) dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\phi_2 = \cos^{-1} 0,90 = 25,84^\circ$$

Sehingga dengan persamaan (2.13) diperoleh :

$$Q_t = P \cdot \tan \phi_2 = 359,92 \times \tan 25,84^\circ$$

$$= 174,30 \text{ kVAR}$$

Berdasarkan nilai kVAR yang didapatkan maka besar kompensasi daya reaktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14).

Kompensasi daya reaktif sebagai berikut. Dimana nilai

$Q_b = 377,76 \text{ kVAR}$; dan $Q_t = 174,30 \text{ kVAR}$, sehingga :

$$Q_c = Q_b - Q_t = 377,76 - 174,30 = 203,46 \text{ kVAR}$$

- Menghitung nilai kapasitor dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.15). Adapun data yang digunakan untuk penjabaran prosesnya berdasarkan dari data Ruang ER 55A. Parameter yang digunakan dalam perhitungan ini adalah sebagai berikut.

$$Q_c = 203,46 \text{ kVAR} = 203460 \text{ VAR}; V = 387,25 \text{ V};$$

$$f = 50 \text{ Hz};$$

Tabel 5. Hasil Kompensasi Reaktif menjadi 0,90 berdasarkan teori

| Kondisi | Teori | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| | Qb (kVAR) | Qt (kVAR) | Qc (kVAR) | C (μF) |
| Sesudah Pemasangan Kapasitor | 377,76 | 174,30 | 203,46 | 4300 |

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V^2} = \frac{203460}{2 \times 3,14 \times 50 \times 387,25^2} = 0.0043 \text{ F}$$

$$= 4300 \mu\text{F}$$

Dengan menggunakan cara ini, sehingga diperoleh nilai-nilai kompensasi daya reaktif setelah perbaikan (Q_c) dan besar nilai kapasitor yang terpasang nantinya pada tabel

Tabel 6. Nilai Pemasangan Kapasitor

| Kondisi | Teori | | | |
|------------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|
| | Qc (kVAR) | Daya Terpasang Kapasitor (kVAR) | Jumlah Step Efektif (kVAR) | Daya/ Step (kVAR) |
| Sesudah Pemasangan Kapasitor | 203,46 | 375 | 8 | 35 |

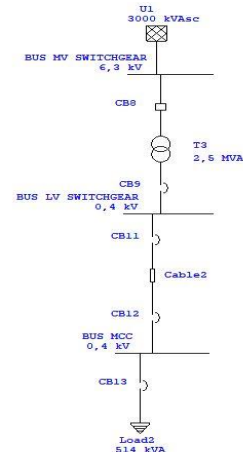
5.

Berdasarkan nilai kapasitansi di atas maka dapat ditetapkan besar pemasangan kapasitor dengan mengacu pada standar nilai kapasitor .

Maka besar kapasitor *bank (shunt capacitor)* yang digunakan adalah seperti pada tabel 6.

F. Simulasi ETAP 12.6

Adapun cara lain untuk menganalisa drop tegangan pada bus *emergency* ER 55A yaitu menggunakan *software* Etap versi 12.6. Namun, terlebih dahulu dibutuhkan data – data peralatan yang akan dianalisa seperti data motor, trafo, kabel dan lain sebagainya. Selanjutnya melakukan *run* pada program tersebut, dan bila masih terdapat *error* yang menandakan program tidak dapat di *run* maka lakukan analisa ulang terhadap data – data peralatan, hubungan setiap komponen dan komponen lainnya, serta hal lain yang menyebabkan *error* pada program tersebut. Berikut *Single Line Diagram* jaringan MCC *emergency* pada ER 55A menggunakan *software* Etap:

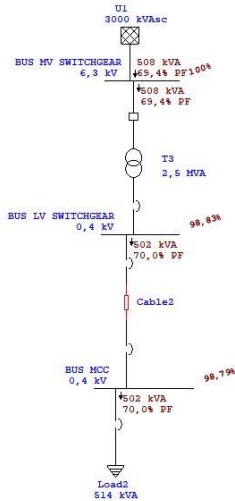


Gambar 5. Single Line Diagram ER 55A

F.1 Sebelum Pemasangan Kapasitor Bank (Sebelum Perbaikan)

Selanjutnya melakukan *run* pada program tersebut, dan bila masih terdapat *error* yang menandakan program tidak dapat di *run* maka lakukan analisa ulang terhadap data – data peralatan, hubungan setiap komponen dan komponen lainnya, serta hal lain yang menyebabkan *error* pada program tersebut. Berikut hasil simulasi sebelum pemasangan kapasitor bank.

Berikut Load Flow Analysis program Etap:



Gambar 6. Hasil Simulasi Sebelum Perbaikan Faktor Daya

Tabel 7. Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan Kapasitor Bank menggunakan ETAP

| Kondisi | Simulasi | | | |
|------------------------------|------------|----------|-----------------|-----------------|
| | Cos ϕ | Arus (A) | Daya Aktif (kW) | Daya Semu (kVA) |
| Sebelum Pemasangan Kapasitor | 0,70 | 733 | 351 | 502 |

Saat disimulasikan kabel 1 berwarna merah yang berarti kabel tersebut dalam keadaan tidak normal yaitu mengalami overload. Adapun hasil yang diperoleh dari simulasi untuk kondisi faktor daya sebelum perbaikan adalah seperti tabel 7.

F.2 Setelah Pemasangan Kapasitor Bank (Setelah Perbaikan)

Selanjutnya, untuk memperbaiki jatuh tegangan pada jaringan tersebut dipasang sebuah kapasitor bank dengan *setting* seperti berikut :

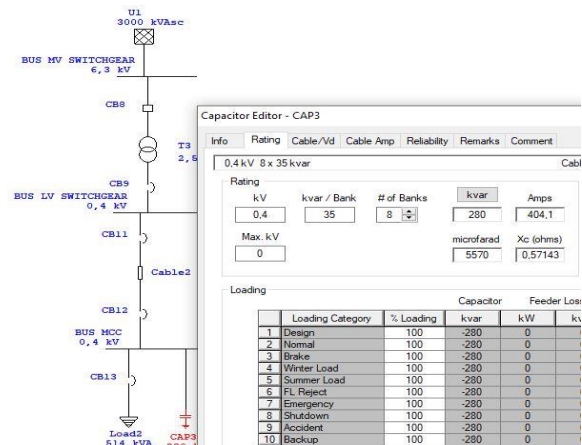
Pada kolom rating dimasukkan data berikut:

Tegangan kerja : 0,4 kV

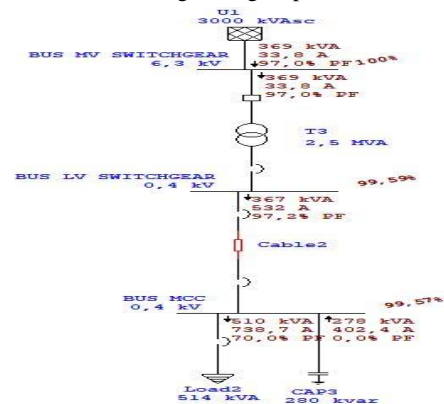
Kvar / bank : 35

Jumlah step : 8

Dari hasil analisis perhitungan pada Etap, maka dengan memasukkan rating 0,4kV; 35 kvar/bank; 8 step maka program Etap akan melakukan perhitungan dan diperoleh total kvar = 280 dan ampere = 404,1. Sehingga total kvar inilah yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya.



Gambar 7. Setting Rating Kapasitor Bank



Gambar 8. Hasil Simulasi Setelah Perbaikan Faktor Daya

Sama halnya dengan simulasi untuk kondisi faktor daya

Tabel 8. Hasil Simulasi Setelah Pemasangan Kapasitor Bank menggunakan ETAP

| Kondisi | Simulasi | | | |
|------------------------------|------------|----------|-----------------|-----------------|
| | Cos ϕ | Arus (A) | Daya Aktif (kW) | Daya Semu (kVA) |
| Setelah Pemasangan Kapasitor | 0,90 | 402 | 357 | 278 |

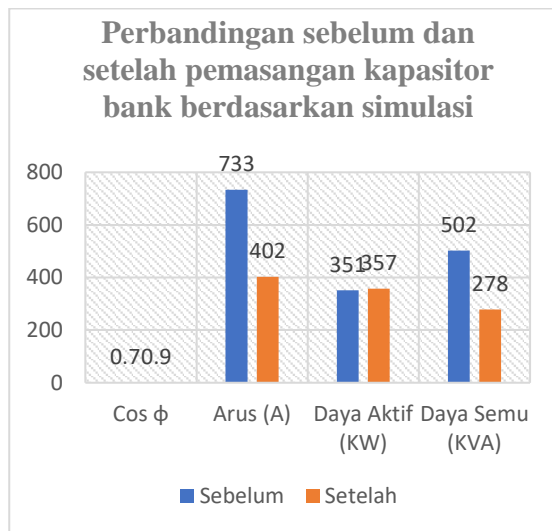
setelah diperbaiki, yaitu pada PF=0.90 memberikan perubahan nilai arus dan kVA yang semakin kecil. normal. Berikut Tabel 8 yaitu hasil simulasi setelah pemasangan kapasitor bank

Tabel 8. Hasil Simulasi Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

G. Perbandingan Hasil Simulasi

Tabel 9. Perbandingan sebelum dan setelah pemasangan kapasitor bank berdasarkan simulasi

| Tabel Perbandingan Sebelum dan Setelah Pemasangan Kapasitor Bank | | | | | | | | |
|--|------------|----------|-----------------|-----------------|------------|----------|-----------------|-----------------|
| Kondisi | Sebelum | | | | Setelah | | | |
| | Cos ϕ | Arus (A) | Daya Aktif (kW) | Daya Semu (kVA) | Cos ϕ | Arus (A) | Daya Aktif (kW) | Daya Semu (kVA) |
| Berdasarkan Simulasi | 0,70 | 733 | 351 | 502 | 0,90 | 402 | 357 | 278 |



Gambar 9. Perbandingan Sebelum dan Setelah Pemasangan Kapasitor Bank Berdasarkan Simulasi

H. Biaya Pembelian dan Pemasangan Kapasitor Bank

Tabel 10. Biaya Pembelian dan Pemasangan Kapasitor Bank

| Kandidat Bus | | Informasi Kapasitor | | | | | |
|--------------|------------|---------------------|-----|-----------|------------|--------------|---|
| ID | Nominal kV | kVAR / Bank | kV | # of Bank | Total kVAR | C (μ F) | Harga Pembelian dan pemasangan Kapasitor Bank |
| Bus MCC | 0.4 | 35 | 0.4 | 8 | 280 | 5570 | Rp 25.379.200 |

Tabel 10 merupakan tabel kapasitas dan lokasi penempatan kapasitor pada bus yang telah dipilih dengan jumlah kapasitor 8 buah dan harga pembelian kapasitor beserta biaya pemasangan kapasitor pada rating tegangan 0.4 kV dan rating kapasitor 35 kVAR/bank dengan kapasitor 8 step jadi total kapasitor menjadi 280 kVAR dengan harga sebesar Rp 25.379.200.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah terselesaikan, maka penulis dapat mengemukakan beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. Besar kompensasi daya reaktif (Q_c) diperoleh berdasarkan selisih dari daya reaktif sebelum perbaikan faktor daya (Q_b) dengan daya reaktif setelah perbaikan (Q_i). Pada ER 55A, besar nilai Q_c adalah 203,46 kVAR yang mana merupakan selisih antara nilai Q_b sebesar 377,76 kVAR dan nilai Q_i sebesar 174,30 kVAR. Berdasarkan Perhitungan besar kompensasi daya reaktif (Q_c) untuk memperbaiki nilai cos ϕ awal 0.70 menjadi 0.90 membutuhkan kompensasi daya reaktif sebesar 203,46 KVAR atau sama dengan 4300 μ F.
2. Biaya optimal pembelian dan pemasangan kapasitor bank di Ruangan ER 55A pada sisi jaringan tegangan rendah menggunakan kapasitor bank dengan rating 35 KVAR 8 step 5570 μ F yaitu dengan harga sebesar Rp 25.379.200. Adapun harga beli kapasitor tersebut didapatkan dari aplikasi

Bukalapak yang diakses pada tanggal 7 september 2021.

REFERENSI

- [1] Juandi, "Implementasi Penempatan Kapasitor Shunt untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Mengurangi rugi-rugi Daya Pada Jaringan Distribusi PT. PLN Sumbawa Besar Menggunakan Software ETAP 12.6", Skripsi. Malang: ITN MALANG, 2016.
- [2] Irwan Iftadi, *Kelistrikan Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2015.
- [3] Margiantonius, "Analisa Penggunaan Kapasitor Bank pada PT. Semen Tonasa Unit V". Laporan Tugas Akhir. Makassar : Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2018.
- [4] Juliantara I putu angga, dkk, "Rancang Bangun Kapasitor Bank Otomatis Berbasis Mikrokontroler ATmega 328P Untuk Perbaikan Faktor Daya". Bali : Universitas Udayana Denpasar, 2018.
- [5] Muh. Rusdi, Mastang, Akhmad, M. Ed, Yuliani H.R, dan Sarwo Pranoto, "Pedoman Penulisan Proposal Dan Laporan Tugas Akhir Program Diploma Empat (D-4) Bidang Rekayasa Dan Tata Niaga". Makassar. Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2016.
- [6] Yusril Ikhsan, "Analisis Kompensasi Daya Reaktif terhadap Motor Induksi 3 Fasa saat Beban Puncak pada PT Semen Tonasa Unit 4". Skripsi. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2019.
- [7] Handayani, Ika dan A.M.Fadly Fajar, "Analisis Aliran Daya dan Gangguan Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Pabrik Tonasa Di PT. Semen Tonasa V Menggunakan ETAP". Skripsi. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, 2012.
- [8] "Tegangan - tegangan Standar," in *SPLN I : 1995*, Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara, 1995.
- [9] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik & Elektronika Daya*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [10] Fachry Azharuddin Noor, dkk., "Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Tegangan, Arus, Faktor Daya, dan Daya Aktif pada Beban Listrik di Minimarket". Semarang : Universitas Negeri Semarang, 2017.
- [11] M. Hariansyah dan Joni Setiawan. "Pemasangan Kapasitor Bank Untuk Memperbaiki Faktor Daya pada Panel Utama Listrik Gedung Fakultas Teknik Universitas IBN Khaldun Bogor". Bogor : Universitas Ibn Khaldun Bogor.